



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Teknis Dan Ekonomis Penggunaan *Wind Turbine* Pada Kapal Penyeberangan Semarang-Karimunjawa

Mohamad Hanif Fadillah Budiman Akbar¹⁾, Untung Budiarto¹⁾, Wilma Amiruddin¹⁾

¹⁾Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email ; haniffadillahbudiman@gmail.com

Abstrak

Armada kapal sangat bergantung pada bahan bakar minyak. Pada tahun 2017 akan dilakukan pembangunan pelabuhan berkapasitas yang dapat menampung kapal hingga 6000 GT. Berangkat dari permasalahan tersebut, tugas akhir ini mencoba menghadirkan kapal penyeberangan untuk digunakan dalam jalur pelayaran Semarang – Karimunjawa dengan menggunakan *wind turbine* untuk mengurangi pemakaian bahan bakar minyak untuk mensuplai kebutuhan penerangan. Tujuan tugas akhir ini adalah untuk mendapatkan tipe dan ukuran *wind turbine* yang optimum serta memiliki biaya investasi yang rendah dan mendapatkan keuntungan ekonomis. Analisis *wind turbine* yang dilakukan adalah pada kecepatan kapal 16 knot, kecepatan angin 10,159 knot sehingga didapat kecepatan angin yang bekerja pada *wind turbine* sebesar 18,95 knot dengan sudut serang angin terhadap *wind turbine* (*angle of attack*, α) adalah 180° (arah angin berlawanan dengan arah kapal). Dari hasil analisa didapatkan *wind turbine* yang optimum untuk dipasang di kapal adalah tipe sumbu horisontal dengan diameter rotor 6,4 m dengan jumlah yang terpasang sebanyak 2 unit. Dengan menggunakan rumus teoritis didapatkan hambatan yang ditimbulkan *wind turbine* sebesar 8 kN sehingga mengakibatkan pengurangan kecepatan sebesar 0.406 knot. Dengan total biaya investasi dan operasional awal sebesar Rp 399,285.864, pemasangan *wind turbine* dapat menghemat biaya sebesar Rp 86.353.054 per tahun.

Kata kunci : Turbin Angin, Analisa Teknis, Analisa Ekonomis, Energi Terbarukan, Kecepatan Angin

1. PENDAHULUAN

Semakin menipisnya ketersediaan sumber energi mengakibatkan harga bahan bakar minyak menjadi tinggi. Kenaikan harga bahan bakar minyak ini berdampak pada dunia perkapalan karena kapal merupakan salah satu alat transportasi yang menggunakan bahan bakar minyak.

Pada tahun 2017 akan dilakukan pembangunan pelabuhan berkapasitas besar yang akan dibangun di Legon Bajak. Pelabuhan tersebut dapat menampung kapal berbobot hingga 6000 GT.^[12]

Dengan dibangunnya pelabuhan ini, tugas akhir ini mencoba menghadirkan kapal penyeberangan 5000 GT untuk digunakan dalam jalur pelayaran Semarang – Karimunjawa dengan menambahkan *wind turbine* pada kapal tersebut. Penggunaan *wind turbine* pada kapal dapat mengurangi pemakaian bahan bakar minyak. Daya *wind turbine* yang dihasilkan untuk memenuhi

beban daya penerangan pada kapal.

Konsep kapal dengan *wind turbine* yang memanfaatkan energi angin memiliki karakteristik khusus dan mempunyai kelebihan dan kekurangan. Kapal dengan *wind turbine* dapat mengurangi pemakaian bahan bakar dalam hal pemilihan mesin bantu tetap miliki kekurangan yang sangat bergantung pada kondisi arah datangnya angin dan kecepatan angin (m/dtk atau km/jam)^[11].

Untuk menentukan kapal layak laut atau tidak dan melihat kondisi kapal, perlu adanya perhitungan stabilitas. Sehingga dapat ditentukan kapal tersebut aman atau tidak untuk berlayar di laut.

Penempatan *wind turbine* yang baik pada kapal dapat memaksimalkan daya yang dihasilkan oleh *wind turbine*. *Wind turbine* dapat mengurangi pengeluaran bahan bakar minyak dari pemakaian generator kapal serta mengurangi biaya pembelian bahan bakar tersebut.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Rencana Umum

Rencana umum dari sebuah kapal dapat didefinisikan sebagai perancangan di dalam penentuan atau penandaan dari semua ruangan yang dibutuhkan, ruangan yang dimaksud seperti ruang muat dan ruang kamar mesin dan akomodasi, dalam hal ini disebut superstructure (bangunan atas). Disamping itu juga direncanakan penempatan peralatan-peralatan dan letak jalan-jalan dan beberapa sistem dan perlengkapan lainnya.

Pengerjaan atau pembangunan kapal yang terpenting adalah perencanaan untuk mendapatkan sebuah kapal yang dapat bekerja dengan baik harus diawali dengan perencanaan yang baik pula. Langkah-langkah dalam menggambar Rencana Umum : Menentukan Ruang Utama.

- Menentukan batas-batas dari ruangan-ruangan didalam kapal.
- Memilih dan menempatkan peralatan atau perlengkapan.
- Menentukan segala peralatan yang dibutuhkan yang diatur sesuai dengan letaknya.
- Menentukan jalan untuk mencapai ruangan-ruangan didalam kapal.
- Menentukan banyaknya kursi yang digunakan

2.2 Wind Turbine (Turbin Angin)

Turbin angin atau *wind turbine* adalah kincir angin yang digunakan untuk memutar generator listrik dan menghasilkan energi listrik. Turbine angin terdiri dari 2 jenis yaitu turbin angin sumbu *vertical* (TASV) dan turbin angin sumbu horisontal (TASH).

Turbin angin mengambil energi angin dengan menurunkan kecepatannya. Untuk bisa mencapai 100% efisien, maka sebuah turbin angin harus menahan 100% kecepatan angin yang ada, dan rotor harus terbuat dari piringan solid dan tidak berputar sama sekali, yang artinya tidak ada energi kinetik yang akan dikonversi.

Besarnya energi angin yang dapat dikonversi menjadi daya dapat dicari dengan menggunakan persamaan:^[3]

$$P = \frac{1}{2} \times A \times \rho \times \eta \times v^3 \quad (1)$$

Dimana :

P = daya yang dapat dihasilkan oleh *wind turbine*

A = *swept area wind turbine*

ρ = massa jenis udara

η = efisiensi *wind turbine*

V = kecepatan angin

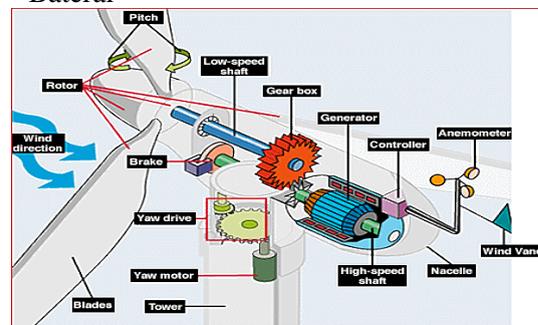
Secara teori, efisiensi maksimum yang bisa dicapai setiap desain turbin angin adalah 59%, artinya energi angin yang bisa diserap hanyalah

59%. Jika faktor-faktor seperti kekuatan dan durabilitas diperhitungkan, maka efisiensi sebenarnya hanya 35 - 45%, bahkan untuk desain terbaik. Terlebih lagi jika ditambah inefisiensi sistem wind turbine lengkap, termasuk generator, bearing, transmisi daya dan sebagainya, hanya 10 - 30% energi angin yang bisa dikonversikan ke listrik.

2.3 Komponen Utama Wind Turbine

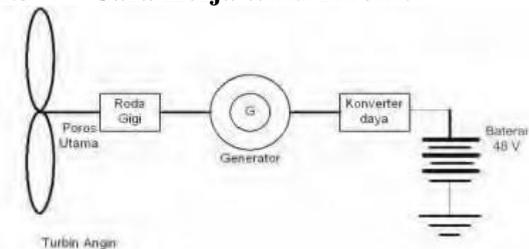
Dalam mengkonversi energi kinetik menjadi energi mekanik suatu *wind turbine* memerlukan beberapa komponen-komponen yang mempunyai fungsi masing-masing. Komponen-komponen tersebut antara lain adalah:

- Sudu
- Rotor
- Gearbox
- Generator
- Sensor dan pengatur arah
- Baterai
- Rectifier
- Regulator
- Tower
- Brake
- Controller



Gambar 1. Komponen-komponen Wind Turbine

2.3 Cara Kerja Wind Turbine



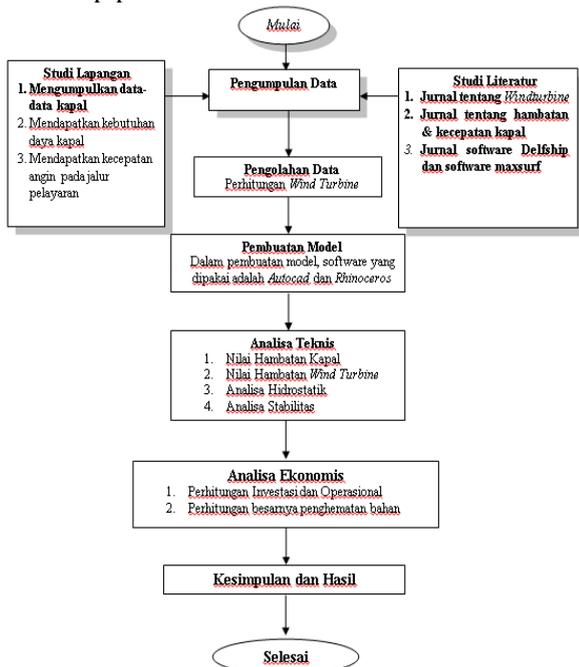
Gambar 2. Skema Kerja Wind Turbine

Pembangkit Listrik Tenaga Angin mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin. Cara kerjanya cukup sederhana, energi angin yang memutar rotor turbin angin, kemudian akan memutar poros turbin angin yang dihubungkan ke gearbox untuk memutar rotor pada generator dibagian belakang turbin angin sehingga akan menghasilkan energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan ini biasanya disimpan kedalam baterai sebelum dapat digunakan.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam karya ilmiah yang baik perlu memiliki metodologi yang terperinci dengan sumber informasi yang sebanyak-banyaknya. Untuk mencapai hasil yang diinginkan, maka dalam pengerjaan Tugas Akhir ini diperlukan kerangka pengerjaan yang tersrtuktur.

Adapun pengerjaan untuk menyelesaikan permasalahan. Hal utama yang perlu dilakukan adalah pengolahan data kecepatan angina yang didapat dari *nesdis.noaa.gov* dan pembuatan model kapal dengan *software rhinoceros* dari *autocad* yang didapat dari PT. Janata Marina Indah. Dari data kecepatan angina dan model kapal, maka dapat dilakukan analisa teknis dan ekonomis yang mencakup permasalahan.



Gambar 3. Diagram alir metode penelitian

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Kecepatan Angin

Data kecepatan angin Semarang. Data yang diambil sesuai daerah pelayaran kapal yang dijadikan sebagai acuan. Titik yang diambil adalah koordinat *latitude* -06.467, *longitude* +110.417 (Semarang).

Tabel.1 Data Kecepatan Angin Dari Titik Yang Diambil

Tahun	Bulan	Kecepatan Angin (Knot)
2015	Juli	10,571
2015	Agustus	11,216
2015	September	14,120
2015	Oktober	10,958

2015	November	11,150
2015	Desember	9,010
2016	Januari	9,952
2016	Februari	10,155
2016	Maret	9,355
2016	April	9,287
2016	Mei	8,216
2016	Juni	7,920
Average		10,159

4.2. Perhitungan Kecepatan Angin

Komponen yang sangat berpengaruh dari kerja *wind turbine* adalah kecepatan angin. Kecepatan angin ini akan menentukan berapa jumlah daya yang dapat dihasilkan oleh sebuah *wind turbine*. Karena *wind turbine* dipasang di kapal, jadi kecepatan angin yang bekerja pada turbin angin merupakan resultan dari kecepatan kapal dan kecepatan angin maka didapatkan kecepatan angin yang bekerja pada turbin angin adalah sebesar 18,95 knot atau sama dengan 9,76 m/s. Pada tabel 2 dapat dilihat perubahan kecepatan turbin yang bekerja pada kapal berdasarkan kecepatan kapal dan kecepatan angin rata-rata yaitu 10,159 knot.

Tabel. 2 Data kecepatan *wind turbine* yang bekerja

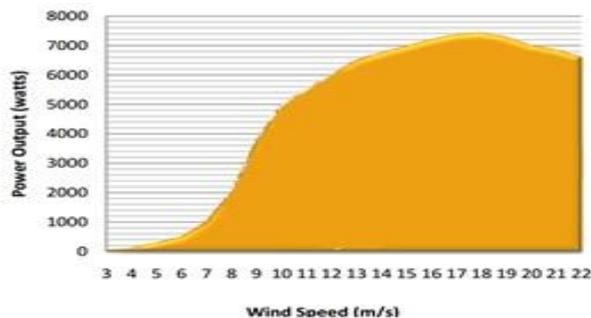
Kecepatan kapal (knot)	Kecepatan angin (knot)	Kecepatan turbin (knot)	Kecepatan turbin (m/s)
0.000	10.159	10.159	5.23
2.000	10.159	10.354	5.33
4.000	10.159	10.918	5.62
6.000	10.159	11.799	6.07
8.000	10.159	12.931	6.66
10.000	10.159	14.255	7.34
12.000	10.159	15.723	8.09
14.000	10.159	17.298	8.90
16.000	10.159	18.955	9.76

4.3 Spesifikasi Turbin Angin yang Digunakan

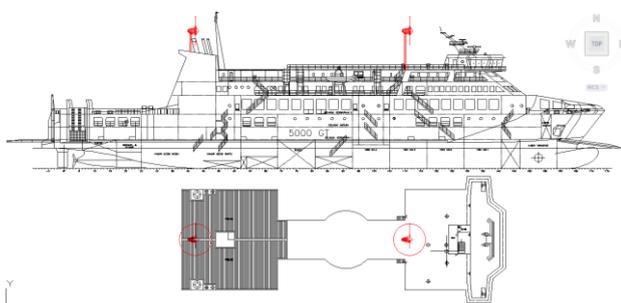
Data *wind turbine* yang digunakan pada kapal memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- *Rated power* : 5 kW @ 10 m/s
- *Peak power* : 7,5 kW
- *Start-up windspeed* : 2,5 m/s

- *Furling windspeed* : 3 – 25 m/s
- *Max speed* : 50 m/s
- *Rotor diameter* : 6,4 m
- *Weight* : 405 kg
- *Category* : Horizontal



Gambar 4. Power Curve *Hummer 5 kW*



Gambar 5. Kapal terpasang *Wind Turbine*

4.4 Daya yang Dikeluarkan oleh *Wind Turbine*

Diketahui kecepatan angin yang bekerja pada *wind turbine* sebesar 18,95 knot atau 9,76 m/s.

Tabel.3 *Annual Power Output Wind Turbine*

Kecepatan angin rata-rata (m/s)	Annual Power Output (kW)
3	1549
4	4191
5	8472
6	1328
7	18220
8	27330
9	39355
9,76	45115,8
10	46935

Daya yang dihasilkan oleh *wind turbine* dalam satu tahun pada kecepatan 9,76 m/s sebesar 45115,8 kW. Maka, daya yang dihasilkan oleh *wind turbine* selama satu hari sebesar 123,6049315 kW.

Waktu berlayar kapal 5 jam 15 menit apabila kecepatan kapal 16 knot. Maka, daya yang dihasilkan oleh *wind turbine* untuk sekali berlayar sebesar 27,03857877 kW. Untuk dua *wind turbine* dapat menghasilkan daya sebesar 54,07715753 kW.

4.5 Perbandingan Daya yang Dihasilkan oleh *Wind Turbine* dan Daya Generator

Daya yang dihasilkan oleh *wind turbine* sebesar 54,08 kW dan daya yang dihasilkan oleh generator yang dipakai kapal sebesar 784 kW. *Wind turbine* dapat memenuhi sebesar 6,90 % dari daya generator kapal.

4.6 Penggunaan Daya *Wind Turbine*

Daya yang dihasilkan oleh *wind turbine* dapat memenuhi beban daya penerangan kapal sebesar 51,408 kW.

Tabel.4 *Annual Power Output Wind Turbine*

Peralatan	Beban Daya (kW)
Junction Lighting - 1	12,563
Junction Lighting - 2	1,53
Junction Lighting - 3	1,938
Junction Lighting - 4	3,536
Junction Lighting - 6	28,39
Junction Lighting - 7	3,451
Total Daya	51,408

4.7 Spesifikasi Baterai yang Digunakan

Data baterai yang akan digunakan untuk mensuplai daya dari *wind turbine* sebagai berikut:

- Merk : OEM – 200
- Type No : 12v/200Ah
- Standar : Jerman
- Kapasitas : 200 Ah
- Dimensi :
 - Panjang : 522 mm
 - Lebar : 240 mm
 - Tinggi : 244 mm
- Berat : 58 kg

4.8 Berat Total *Wind Turbine* dan Baterai

Berat total *wind turbine* merupakan penjumlahan dari berat *wind turbine*, dan baterai sesuai dengan jumlah yang dibutuhkan di kapal. Berat total ini akan berpengaruh terhadap hambatan dan stabilitas kapal. Setelah adanya penambahan berat ini, maka batasan-batasan tersebut perlu dilakukan analisa ulang.

Wind Turbine yang digunakan berjumlah 2 buah dan 1 buah *wind turbine* membutuhkan 20 baterai. Jadi, banyaknya baterai yang digunakan adalah 40 buah.

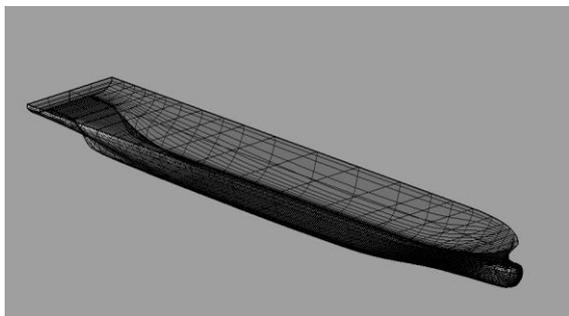
Tabel.5 Berat *Wind Turbine* dan Berat Baterai

Item	Berat Satuan (kg)	Jumlah	Total Berat (kg)
<i>Wind Turbine</i>	405	2	810
Baterai	58	40	2320
Berat Total			3130

4.9 Analisa Hambatan

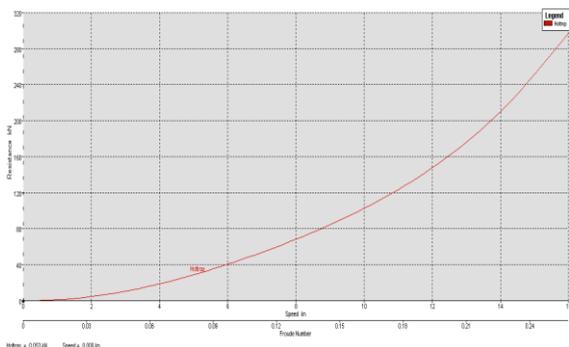
Bertambahnya berat kapal akibat pemasangan *wind turbine* dan komponen-komponennya akan mengakibatkan bertambahnya sarat kapal. Pertambahan sarat ini perlu dicari karena akan mempengaruhi besarnya hambatan kapal. Semakin besar luas permukaan kapal yang tercelup, semakin besar pula hambatan yang ditimbulkan.^[2]

Hambatan kapal akan dihitung dengan menggunakan metode Holtrop dengan bantuan software maxsurf hullspeed. Namun terlebih dahulu harus membuat model kapal pada software Rhinoceros.



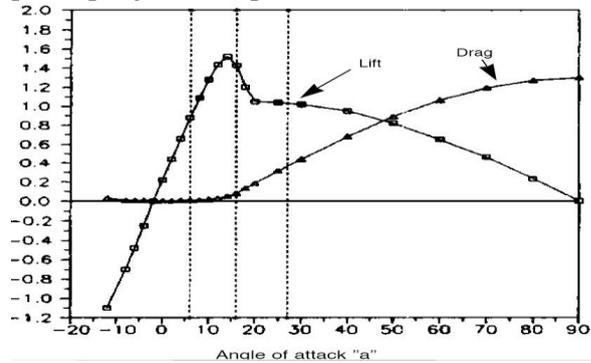
Gambar 6. Model Kapal Pada Rhinoceros

Setelah dilakukan beberapa proses tahapan pada software maxsurf hullspeed, didapatkan hambatan pada kecepatan 16 knot adalah sebesar 297,6 kN



Gambar 7. Grafik Hambatan Hullspeed

Hambatan dari *wind turbine* dihitung berdasarkan besarnya kecepatan angin, luas penampang *wind turbine* dengan koefisien drag dari penampang dan kerapatan udara.^[3]



Gambar 8. Grafik C_L , C_D dan *angle of attack* series NACA 63 (Henrik Stiesdal, 1999)

Pendekatan profil NACA 63 ditentukan berdasarkan jurnal “*Analisa Teknis Dan Ekonomis Penggunaan Wind Turbine Dan Solar Cell Pada Kapal Perikanan*” dan “*Analisa Teknis Dan Ekonomis Pemasangan Wind Turbine Sebagai Penghasil Daya Untuk Sistem Penerangan Pada Kapal Tanker 6500 DWT*”.

Berdasarkan grafik diatas harga koefisien drag untuk sudut serang angina 90° adalah 1,3. Harga ini diambil dari profil NACA series 63 berdasarkan catalogue *wind turbine*. Dengan kerapatan udara sebesar 1,3 kg/m³ maka bisa dihitung hambatan dari tiap-tiap *wind turbine*.^[5] Besarnya hambatan dari turbine dapat dihitung dengan persamaan:^[3]

$$F_D = 0,5 \times C_D \times \rho \times V^2 \times (bc) \times B \quad (2)$$

Dimana :

- ρ = massa jenis udara (ton/m³)
- b = panjang blade turbin (m)
- c = panjang chord ($2r (\sin (\alpha/2))$) (m)
- V = kecepatan angin yang bekerja pada turbin (m/s)
- C_D = koefisien drag

Setelah dilakukan perhitungan hambatan *wind turbine* yang didapat sebesar 8 kN. Besarnya hambatan terjadi saat kecepatan angin yang bekerja pada *wind turbine* sebesar 9,76 m/s.

Setelah dilakukan penjumlahan antara hambatan *wind turbine* dengan hambatan kapal sehingga didapatkan hambatan total. Hambatan total inilah yang akan digunakan untuk menghitung besarnya pengurangan kecepatan kapal setelah pemasangan *wind turbine*.

Tabel.6 Total Hambatan setelah dipasang *wind turbine*

Kecepatan kapal (knot)	Holtrop Resist (kN)	FD (kN)	Total Hambatan Kapal
------------------------	---------------------	---------	----------------------

0	--	--	--
2	4.6	2	6.9095118
4	18.7	3	21.268026
6	40.6	3	43.598884
8	68.3	4	71.902085
10	102.7	4	107.07763
12	147.7	5	153.02552
14	210.2	6	216.64575
16	297.6	8	305.33832

4.10 Evaluasi Pengurangan Kecepatan Kapal

Dengan adanya wind turbine akan mengurangi kecepatan kapal akibat hambatan yang ditimbulkan oleh wind turbine. Pengurangan kecepatan ini perlu dihitung karena apabila pengurangannya besar maka perlu adanya daya tambahan untuk main engine agar kapal bisa tetap beroperasi pada kecepatan service awal 16 knot.

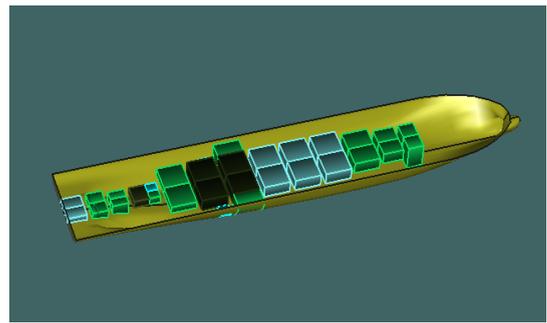
Tabel.7 Evaluasi Kecepatan dan Daya Main Engine

Kecepatan awal (knot)	Fd (kN)	Penambahan Daya (kW)
0	--	--
2	2.309512	5.065637761
4	2.568026	11.26531766
6	2.998884	19.73308184
8	3.602085	31.60297244
10	4.377629	48.00903161
12	5.325517	70.08530146
14	6.445747	98.96582416
16	7.73832	135.7846418

4.11 Analisa Stabilitas Kapal

Pemasangan wind turbine akan menambah berat kapal, bertambahnya berat kapal ini tentunya akan merubah posisi titik berat kapal sehingga perlu dilakukan analisa ulang mengenai stabilitas kapal. Stabilitas kapal dianalisa dengan bantuan maxsurf hydromax. Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Permodelan Tanki

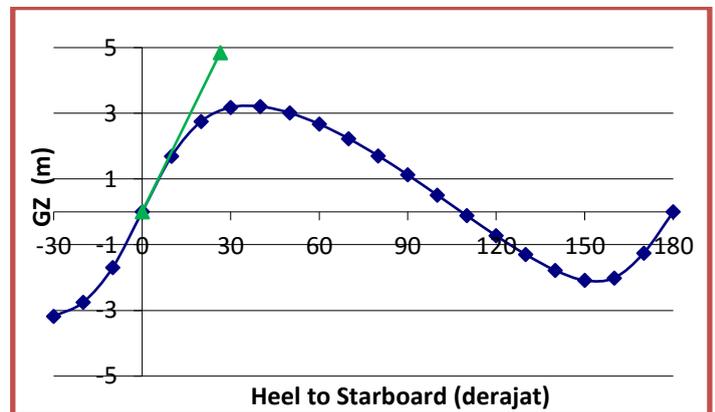


Gambar 9. Pemodelan Tanki Pada Maxsurf

2. Pemasukan Kondisi Pembebanan Adapun kondisi pembebanan tersebut adalah kapal kondisi muatan penuh dengan BBM, air tawar tinggal 75%, kondisi kapal muatan penuh dengan BBM, air tawar tinggal 50%, kondisi kapal muatan penuh dengan BBM air tawar 25%.

3. Penentuan Kriteria Stabilitas

Kriteria stabilitas yang digunakan adalah peraturan IMO Anex 749.



Gambar 10 Kurva Stabilitas Kapal dengan Wind Turbine muatan penuh, bbm 50%, air tawar 50%

Tabel.8 Hasil Analisa Stabilitas Kapal

No	Kriteria	Kondisi		
		1	2	3
1	Area 0 to 30	49,732	55,967	61,746
2	Area 0 to 40	74,827	84,712	93,939
3	Area 30 to 40	25,095	28,745	32,183
4	Max GZ at 30 or greater	2,519	2,885	3,231
5	Angle of maximum GZ	34,9	34,9	34,9
6	Initial GMt	9,843	10,018	10,559
	STATUS	<i>Pass</i>	<i>Pass</i>	<i>Pass</i>

4.12 Biaya Investasi Wind Turbine

Biaya investasi ini meliputi biaya pembelian wind turbine, biaya electrical connection, biaya

instalasi *wind turbine*, biaya operasional dan *maintenance*, *biaya replacement*.

Tabel.9 Biaya pembelian *wind turbine* dan baterai

Barang	Harga Satuan (USD)	Jumlah	Total Harga (USD)
<i>Wind Turbine</i>	11.393	2	22.787
Baterai	140	40	5.600
Total			28387

Biaya *electrical connection* adalah biaya yang dibutuhkan untuk pengadaan alat-alat yang berfungsi untuk menyambungkan sistem dari *wind turbine* ke baterai dan dari baterai ke ke lampu penerangan. Yang termasuk dalam biaya ini adalah pembelian kabel, *transformer*, dan lain-lain. Berdasarkan persamaan yang diberikan pada *report "Wind Turbine Design Cost and Scaling Model"* besarnya biaya *electrical connection* bergantung pada power yang dihasilkan oleh *wind turbine*. Persamaan yang diberikan adalah sebagai berikut:

$$\text{Electrical Connection Cost} = \text{machine rating} \times \text{electrical connection cost factor (USD)} \quad (3)$$

$$\text{Electrical Connection Cost Factor} = (3,49E-06 \times \text{machine rating}^2) - (0,221 \times \text{machine rating}) + 109,7 \text{ (USD/kW)} \quad (4)$$

Dimana :

$$\text{machine rating} = \text{power output wind turbine (kW)}$$

Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan nilai factor biaya penyambungan listrik sebesar 108,60 USD/kW dan dipakatkan biaya penyambungan listrik sebesar 542,96 USD dengan *power output wind turbine* sebesar 5 kW.

Tabel.10 Biaya *electrical connection*

Biaya Penyambungan Listrik (USD)	Jumlah <i>Wind Turbine</i>	Jumlah Biaya Penyambungan (USD)
542,96	2	1085,95

Biaya instalasi *wind turbine* yang akan dihitung disini merupakan biaya instalasi baterai, tower, komponen pendukung *wind turbine*, dan komponen *electrical* lainnya. Berdasarkan *report "Wind Turbine Desain Cost and Scaling Model"* persamaan yang digunakan untuk besarnya biaya instalasi *wind turbine* adalah persamaan:

$$\text{Biaya instalasi} = 1,965 \times (\text{hub height} \times \text{rotor diameter})^{1,1736} \text{ (USD)} \quad (5)$$

Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan biaya instalasi sebesar 340,33 USD

Tabel.11 Biaya instalasi *wind turbine*

Biaya Instalasi (USD)	Jumlah <i>Wind Turbine</i>	Jumlah Biaya Instalasi (USD)
340,33	2	680,66

Selama *wind turbine* beroperasi, terdapat biaya yang harus dikeluarkan untuk menjaga kinerja dari *wind turbine*. Biaya tersebut adalah biaya *maintenance* dan biaya *replacement*. Besarnya biaya *maintenance* untuk *wind turbine* di bawah 50 kW adalah USD 40 per kW tiap tahunnya sedangkan biaya *replacement*-nya adalah USD 10.7 per kW tiap tahunnya. Angka ini berdasarkan jurnal "Wind Turbine Design Cost and Scaling Model".

Tabel.12 Biaya *O&M* Untuk *Wind Turbine*

Daya (kW)	Jumlah Turbin	Besarnya Biaya Perbaikan (USD)	Biaya <i>O&M</i> per tahun (USD)
5	2	40/kW	400

Tabel.13 Biaya *Replacement* Untuk *Wind Turbine*

Daya (kW)	Jumlah Turbin	Besarnya Biaya Replacement (USD)	Biaya Penggantian per Tahun (USD)
5	2	10,7/kW	107

Tabel.14 Biaya Total Investasi

Keterangan	Biaya (USD)	Biaya (Rupiah)
Biaya Pembelian	28.387,00	375.900.500
Biaya Electrical Connection	1085,95	14.380.144
Biaya Instalasi	680,66	9.013.296
Total Biaya	30.153,61	399.285.864

Jadi, biaya investasi total *wind turbine* yang dipasang dikapal sebesar Rp 399.285.864

4.13 Biaya Operasional Genset Pada Kapal

Biaya operasional genset yang digunakan pada kapal dengan daya genset sebesar 392 kW dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

Pemakaian Bahan Bakar =

$$\text{Daya Genset} \times \text{Waktu} \times k \quad (6)$$

Dimana :

$$\text{Daya Genset} = 392 \text{ Kw} \times 2 = 784 \text{ kW}$$

$$k = \text{ketetapan (0,08 - 0,20)} \quad k = 0,2$$

$$\text{Waktu} = 1 \text{ hari} = 5,25 \text{ jam} = 5 \text{ jam } 15 \text{ menit}$$

$$\text{Harga bahan bakar per liter} = \text{Rp } 8.800$$

Tabel.15 Penghematan Kapal dengan *Wind Turbine*

Item	Satuan	Biaya Operasional Genset
------	--------	--------------------------

Daya Genset	kW	784
Pemakaian Bahan Bakar	L/Hari	1029
Pengeluaran	Rp/Hari	9.055.200

4.14 Biaya Operasional Genset dengan Windturbine pada Kapal

Biaya penghematan menggunakan *wind turbine* dengan daya sebesar 10 kW dan kecepatan yang bekerja pada *wind turbine* sebesar 9,76 m/s mendapatkan daya pengeluaran sebesar 27,04 kW:

Pemakaian Bahan Bakar =

$$\text{Daya Wind turbine} \times \text{Waktu} \times k \quad (6)$$

Dimana :

$$\text{Daya Windturbine} = 27,04 \text{ kW} \times 2 = 54,08$$

$$\text{Daya genset dengan Windturbine} = 729,92 \text{ kW}$$

k = ketetapan (0,08 – 0,20)

k = 0,2

$$\text{Waktu} = 1 \text{ hari} = 5,25 \text{ jam} = 5 \text{ jam } 15 \text{ menit}$$

$$\text{Harga bahan bakar per liter} = \text{Rp } 8.800$$

Tabel.16 Penghematan Kapal dengan *Wind Turbine*

Item	Satuan	Biaya Operasional Genset dengan <i>Windturbine</i>
Daya Genset	kW	729,92
Pemakaian Bahan Bakar	L/Hari	958,02
Genset dengan <i>Windturbine</i>	Rp/Hari	8.430.608

4.15 Analisa Kelayakan Investasi dan Perhitungan BEP (*Break Even Point*)

Analisa kelayakan ini digunakan untuk mengetahui apakah investasi akan mengalami keuntungan dalam beberapa tahun kedepan.

Analisa dilakukan dengan membandingkan biaya investasi dan operasional *wind turbine* per tahunnya dengan biaya penghematan bahan bakar per tahunnya.

Kapal berlayar 4 hari dalam 1 minggu, dalam 1 tahun kapal berlayar selama 192 hari.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel dibawah:

Tabel.17 Biaya Investasi dan Keuntungan Pasif

Biaya tetap atau biaya invest (Rp)	399.285.864
Biaya operasional genset tanpa <i>wind turbine</i> (Rp)	1.738.598.400
Biaya operasional genset dengan <i>wind turbine</i> (Rp)	1.618.676.896
Selisih biaya operasional (Rp)	119.921.504

Biaya O&M <i>wind turbine</i> per tahun (Rp)	26.483.985
Biaya <i>Replacement wind turbine</i> per tahun (Rp)	7.084.465
Keuntungan pasif per tahun (Rp)	86.353.054
Keuntungan pasif sekali berlayar (Rp)	589.624

$$BEP = \frac{\text{Biaya Total Investasi}}{\text{Keuntungan Pasif}} \quad (7)$$

$$BEP = \frac{\text{Rp } 399.285.864}{\text{Rp } 86.353.054}$$

$$BEP = 4,62 \text{ tahun}$$

Artinya, untuk mendapatkan keuntungan kapal harus berlayar selama 4,62 tahun. Setelah itu akan mendapat profit sebesar Rp 589.624 per harinya saat berlayar.

Windturbine dapat digunakan selama 10 tahun sampai 15 tahun. Maka, penggunaan *windturbine* pada kapal dapat dikatakan layak.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada kapal penyeberangan 5000 GT ini diperoleh beberapa kesimpulan:

1. Dari hasil analisa jenis dan ukuran *wind turbine*, didapatkan *wind turbine* yang optimum untuk dipasang di kapal adalah *wind turbine* sumbu horisontal berjumlah 2 buah dengan merk Hummer 5 kW yang memiliki diameter blade 6,4 m, swept area 32,1536 m², start up speed 2,5 m/s², rated wind speed 10 m/s², power 5000 watt dan massa 405 kg.
2. Penempatan 2 *wind turbine* pada kapal penyeberangan 5000 GT ditempatkan pada navigation deck di daerah station 41 dan station 110, pada ketinggian 19,2 meter dan tepat berada di center line.
3. Terjadi penurunan kecepatan service kapal sebesar 2.53 % dari kecepatan awal 16 knot menjadi 15.595 knot.
4. Biaya Investasi *wind turbine* sebesar Rp. 399.285.864 maka titik balik dari biaya investasi untuk pemakaian *wind turbine*

- selama 4,62 tahun.
5. Penggunaan wind turbine dapat menghemat pemakaian bahan bakar generator sebesar Rp.449.755 perhari atau Rp 86,353,054 per tahun.
 6. Hasil perhitungan stabilitas setelah pemasangan wind turbine adalah nilai GZ maksimum 3,231 meter pada kondisi III, nilai MG terbesar 10,559 meter pada kondisi III, dan sudut maksimum GZ 34.9 pada kondisi III

5.2 Saran

1. Untuk mendapatkan hasil perhitungan yang lebih akurat mengenai analisa daya yang dihasilkan dan hambatan dari *wind turbine*, perlu dilakukan pemodelan *wind turbine* dengan menggunakan CFD.
2. Perlu dilakukan variasi sudut serang angin terhadap *wind turbine* guna mengetahui pengaruhnya terhadap olah gerak kapal.
3. Penelitian ini hanya membahas mengenai pemanfaatan energi angin dengan daya yang sudah ditentukan yaitu 10 kW untuk penerangan pada kapal. Perlu adanya survey kapal secara langsung sehingga dapat mengetahui data spesifik besar daya yang dibutuhkan kapal untuk penerangan.
4. Perlu adanya perhitungan kekuatan struktur pada *navigation deck*, karena adanya penambahan beban oleh *wind turbine*.

Carbon Footprint of Electricity Generation. November 2006.

- [7] Molland, A.F. 208, *A Guide to Ship Design, Construction and Operation*, The Maritime Engineering Reference Book, Butterworth-Heinemann, Elsevier.
- [8] Harvald. Sv. Aa.,1992, "Resistance and Propulsion of Ship", Department of Ocean Engineering and John Willey & sons Inc, New York.
- [9] Fingersh.L, Hand.M, and Laxson.A, December 2006, "Wind Turbine Design Cost and Scaling Model", Technical Report NERL/TP-500-40566, National Renewable Energy Laboratory, Colorado.
- [10] Sitorus, Boris De Palma. 2015. *Analisa Teknis Dan Ekonomis Penggunaan Wind Turbine Dan Solar Cell Pada Kapal Perikanan*. Skripsi Sarjana Pada FT UNDIP Semarang: Diterbitkan Tahun 2015
- [11] Rivaldhi, Yogia. 2015. *Analisa Teknis Dan Ekonomis Pemasangan Wind Turbine Sebagai Penghasil Daya Untuk Sistem Penerangan Pada Kapal Tanker 6500 DWT*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [12] <http://mediaindonesia.com/news/read/64206/karimunjawa-segera-disandari-kapal-besar/2016-08-30>

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bockmann, Eirik, 2011," Wind Turbine Propulsion of Ship", Norwegian University of Science and Technology, Norway
- [2] Lewis, E.V.(Editor), 1988, "Principle of Naval Architecture, Volume II. – Resistance, Propulsion and Vibration", The Society of Naval Architecture and Marine Engineers, Jersey City
- [3] Lysen, E. H., Agustus 1982, "Introduction to Wind Energy", CWD Amersfoort The Netherlands.
- [4] Park, Jack., 1981, "The Wind Power Book", Cheshire Books, Palo Alto California.
- [5] Strong, Simon James., 2008, Dissertation "Design of a Small Wind Turbine", University of Southern Queensland, Australia
- [6] United Kingdom Parliamentary Office of Science and Technology. *Postnote on*